Beiträge

zur

Anatomie und Physiologie

der

Zelle.

Eine

von der philosophischen Facultät der Universität Rostock

genehmigte

anatomisch-physiologisch-botanische Inaugural-Dissertation

von

Rudolf Weise,

Doctor der Philosophie.

Rostock.

Druck von Adler's Erben.

1867.

Lassen wir unser Auge von der Erde hinaufschweifen zu dem Sternenhimmel, blicken wir um uns in der Natur, die so groß und reich ist, so wird uns das Interesse, welches die denkende Menschheit von jeher für die Naturerscheinungen an den Tag gelegt hat, begreiflich und klar. So ist denn auch die hierher einschlagende Literatur, beginnend mit den Fragmenten der älteren griechischen Naturphilosophen, allmählig zu einem solchen Umfang angeschwollen, daß eine Geschichte ihrer Anfänge, ihrer Entwickelung und Vervollkommnung, da sie zu gleicher Zeit Culturgeschichte der Menschheit sein müßte, für einen Menschen beinahe als eine nicht zu bewältigende Aufgabe erscheint. Wenn ich sage, daß eine Geschichte der Naturwissenschaften auch eine Culturgeschichte der Menschheit sein muß, so hat dieser Ausspruch, außer seiner allgemeinen noch jetzt giltigen inneren Wahrheit, seinen Grund in dem, was uns von den ältesten griechischen Philosophen überliefert worden ist. Ihnen war Naturkunde und Philosophie eine einzige, wesentlich mit einander verschmolzene Geistesarbeit. Im Laufe der Jahrhunderte hat sich die Naturwissenschaft von ihrer Mutter, der Philosophie, getrennt und ist selbst die Erzeugerin umfangreicher Disciplinen geworden. So wurden Chemie, Mineralogie, Botanik, Zoologie und Physik besondere Wissenschaften. Sehen wir jetzt ab von den anderen Disciplinen und wenden uns allein zur Botanik. Auch sie hat sich getrennt in die systematische Botanik und in Anatomie und Physiologie der Pflanzen. Auch hierin entfaltet die Literatur einen großen Reichthum. Allein man wird es verzeihlich finden, wenn ich das, was in vorigen Jahrhunderten über diese

Disciplin geschrieben ist, mit Stillschweigen übergehe; nicht als ob wir berechtigt wären überhaupt auf das, was ein Malpighi, was Grew und Hedwig, was Link und Amici wie andere ausgezeichnete Gelehrte in dieser Beziehung Ruhmvolles geleistet haben, verächtlich hinabzusehen; nein im Gegentheil, man möchte berechtigt sein zu sagen, was jene Männer haben sehen können, haben sie auch gesehen. Allein ihre Erfolge waren wesentlich bedingt und begränzt durch die Hilfsmittel, welche ihnen zu Gebote standen. Die Instrumente, mit denen sie arbeiteten, waren zu sehr primitiver Natur, kurz äußerst unvollkommen. Ein Mikroskop damaliger Zeit hatte nur die Eigenschaft zu vergrößern und auch das nur in geringem Maaßstab. Eine Linse, in Holz gefaßt, half Malpighi die wahre Structur der Pflanze erkennen; er wies zuerst im Jahre 1670 nach, daß ihre Zellen ringsum geschlossene, mit einer Membran versehene Bläschen seien. Für das aber, was sich auf die Physiologie der Pflanzen- und Thierzelle bezieht, reichten jene schwer zu handhabenden Linsen, welche das, was sie dem Beobachter zeigten, nur mit farbigen Säumen erscheinen ließen, nicht aus. So konnten jene Untersuchungen, die sich außerdem oft zusammenhangslos aneinanderreihten, in damaliger Zeit noch nicht zu einem gegliederten, in sich geschlossenen System führen. Erst der Neuzeit war es vorbehalten, die großen Fortschritte der Optik und Mechanik auszunutzen. Erst durch diese wurde die feinere Anatomie, sowie die Physiologie der Pflanzen und Thiere zu selbstständigen Zweigen einer wahren Wissenschaft erhoben. Die Namen Schieck, Plössl, Amici, Nobert, Oberhäuser-Hartnack, Nachez, Schröder, Bénèche und Zeiß werden noch in späten Zeiten glänzen.

Seit mehreren Jahren mit Untersuchungen auf dem Gebiet der allgemeinen Botanik beschäftigt, wage ich es jetzt einen Theil derselben unter dem Titel „Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Zelle" der Oeffentlichkeit zu übergeben.

Sowohl die Anatomie wie die Physiologie der Pflanzen gehen von der Zelle aus, allein ein Ueberblick über das, was von der Structur und Textur der Zelle geschrieben ist, zeigt uns, wie auch

heutzutage die Meinungen darüber, was eine Zelle sei, noch weit auseinandergehen. Jede Erscheinung aber muß genau definirt sein, ehe wir ihre Entstehung und ihre Folgen weiter untersuchen dürfen. Leider jedoch ist diese Arbeit in Bezug auf das, was eine Zelle ist, noch keineswegs zur Befriedigung erledigt. Wie die provisorischen Definitionen nun für die Ausbildung der Naturwissenschaften im Allgemeinen eine große Bedeutung haben, so ist dies im Speciellen auch für die vorliegende Arbeit von tiefer Wahrheit. So scheint es vorläufig am besten, mit Max Schultze die Zelle einen organisirten Protoplasma-Haufen zu nennen. Bevor wir jedoch auf die uns vorliegenden Untersuchungen näher eingehen, scheint es mir unumgänglich nothwendig, vorher erst noch einige wenige Worte über die zu unserer Zeit in den Naturwissenschaften zu verfolgende Methode zu sagen.

Wie oft müssen wir es nicht noch in unseren Tagen im Gespräch erleben oder in Büchern lesen, daß sich jemand über irgend eine Größe arithmetischer oder geometrischer Art als solche verwundert; wie oft finden wir nicht in den Werken sonst tüchtiger Autoren dithyrambische Ergießungen über das Heer der Sterne, die Macht der Sonne, die Größe des Universums ꝛc. Ja selbst Alexander v. Humboldt ist zuweilen noch in solchen Anschauungen befangen. Wer die Natur wirklich zu ergründen bestrebt ist, wird finden, daß der Gedanke der Einheit der Schöpfung, der darin ausgesprochen liegt, daß der größte Körper, der existirt, denselben Gesetzen folgt, wie jedes einzelne Atom, aus denen er zusammengesetzt ist, einzig und allein des Staunens werth ist. Da es nun im Allgemeinen leichter ist mit kleinen Faktoren zu rechnen, so muß auch derjenige, welcher mit Erfolg die Natur studiren will, das Kleine aufsuchen, weil er da seinen Zweck und sein Ziel am sichersten erreichen wird, indem er die Natur dort am besten arbeiten sehen, d. h. ihre Gesetze, ihre Kräfte kennen lernen kann. Die Methode, der wir bei solchen Beobachtungen folgen müssen, ist eine objective und inductive. Den letzten Grund, die letzte Ursache freilich, sind wir meist gezwungen auf speculativem Wege zu erforschen,

indem wir uns provisorischer Hypothesen, die allerdings als augenblickliche Wahrheiten gelten, bedienen. So können die heutigen Naturwissenschaften nicht mehr der Atomentheorie entbehren, die allerdings eine Hypothese ist, die jedoch für den jetzigen Stand der Dinge, d. h. bei der jetzigen Capacität unseres Geistes und der uns zu Gebote stehenden äußeren Mittel, im höchsten Grade wahrscheinlich ist. Man darf es eben nie vergessen, daß der Mensch die Wahrheit nur erstreben kann, sie aber nie wirklich erreichen wird. Nach der Atomentheorie sollen alle Gegenstände, seien sie organischer oder unorganischer Natur, gleich sein, der uns erkennbare Unterschied aber nur durch die verschiedenen Gruppirungen der Atome untereinander und zueinander bedingt und hervorgebracht werden. Man wird in der Gegenwart leicht geneigt sein, den Ansichten der alten Atomistiker (Leucipp und Democrit) einen höheren Werth beizulegen, als sie verdienen, weil man sogleich die Verwandtschaft dieser Ansichten mit derjenigen Theorie der Materie, welche die moderne Physik giebt, d. h. der heutigen Atomenlehre, herausfühlt, und dabei übersieht, daß zwischen ihnen noch eine gewaltige Kluft ist. Den alten Atomistikern fehlte der Begriff der Ursache; es blieb ihnen daher nichts übrig, als die Materie zufällig oder nach Anleitung ganz willkürlicher Maximen, aus Atomen und leeren Räumen zu formen; nach der modernen Physik besteht der Körper aus Atomen, die mit bestimmten Kräften begabt sind; die Atome selbst haben nur als die Träger der Bewegungsursachen eine Bedeutung.

Ob wir nun bei der durch die Atomentheorie errungenen Erkenntniß, daß alle Dinge gleich sind, noch berechtigt bleiben, die gesammte Natur in das unorganische und organische Reich, letzteres in das Thier- und Pflanzenreich zu scheiden, will ich hier unerörtert lassen. Die Wissenschaften, die sich mit den beiden letztgenannten Reichen beschäftigen, die Zoologie und Botanik, bauen ihr System auf von einer einfachen Zelle bis zu derjenigen Species, die heute die höchstentwickelte zu sein scheint. Das Studium der Pflanzen- und Thier-Anatomie und Physiologie lehrt uns nicht nur die Veränderungen, welche der ganze Organismus oder seine

einzelnen Theile durch innere und äußere Reize erfährt, sondern giebt uns auch über die Morphologie, d. h. die Struktur und Textur des Ganzen und der das Ganze bildenden Elementartheile Aufschluß. Als die wichtigsten Aufgaben der Physiologie vermögen wir die Entwickelungsgeschichte und die Erforschung der Befruchtungsvorgänge zu erwähnen. Da die allgemeine Botanik uns also das innerste Wesen der Pflanze erschließt, so scheint mir dasjenige Lehrbuch der systematischen Botanik dem Ideal einer exacten Wissenschaft am Meisten zu genügen, welches so viel wie möglich auf die Resultate der allgemeinen Botanik eingeht und zurückgreift. Je mehr die angegebene Methode Platz greift, desto schneller werden die sogenannten künstlichen Systeme verlassen werden und natürliche an ihre Stelle treten. Die analytische Methode wird der synthetischen weichen müssen. Auch die Idee der Einheit der Schöpfung wird immer mehr und mehr sich bewahrheiten. Ist man ja doch schon so weit gekommen, keinen objectiven Unterschied zwischen Thier und Pflanze zu wissen; alle früher für die Unterscheidung angegebenen Merkmale sind verworfen oder bestehen nur noch in dem subjectiven Glauben und der individuellen Meinung des Einzelnen. Es ist diese Erkenntniß, freimüthig und offen ausgesprochen, für die heutige Wissenschaft keine Schande, sondern eine Ehre.

Wohl verdienten hier die Bestrebungen Darwins erwähnt zu werden. Ueber den ersten Schöpfungsact ein positives Urtheil abzugeben, ist müßige Phantasterei, wir können nur aus der chemischen Natur der Organismen negative Schlüsse ziehen. So darf z. B. die Erde bei Erschaffung der ersten Zelle keine Temperatur gehabt haben, in der das Eiweiß gerinnt. Einmal aber in der Geschichte der Organismen muß ein erstes Wesen entstanden sein, muß eine erste Zelle geschaffen sein. Einzig bei der ersten Zelle darf von einer **generatio aequivoca** die Rede sein, im weiteren Verlauf sehen wir die Zellen nur aus schon bestehenden Zellen entstehen. Aber nur bis zu jener **generatio spontanea** vermögen wir den Schleier der Entwickelungsgeschichte aller Organismen zu lüften, sie ist die letzte Sprosse der Stufenleiter, welche uns die Erkenntniß

successiver Vervollkommnung aller Wesen erringen hilft und uns zu der nüchternen Höhe heutiger Systematik aufsteigen läßt. Niemals jedoch werden wir erforschen, wie die einzelnen Atome sich zur ersten Zelle congregirt. Es hat leider eine Zeit gegeben, in der die Anhänger der atomistischen Theorie dieselbe durch unsinnige Anwendungen in völligen Mißcredit gebracht haben. Es ist ein gar nicht zu verzeihender Irrthum, die Zelle oder auch nur das kleinste Protoplasma-Körnchen ein Atom zu nennen. Ein Atom ist ein ideelles Wesen und kann nie durch einen noch so kleinen materiellen Punkt uns sichtbar werden. Es besteht also nur in dem Verstande der Menschen, gehört aber nie in den Kreis der realen Erscheinungen. Mithin kann kein Mikroskop, wenn es auch noch so stark vergrößerte, uns ein Atom sichtbar machen. In einem anderen Sinne jedoch soll die Wissenschaft über Zellenbildung aufklären, d. h. untersuchen, wie eine Zelle aus der anderen entsteht. Daß dieses aber wahr ist, brauche ich wohl nicht noch zu beweisen. Wenngleich wir die vegetabilische Zelle, auf die wir uns hier vorläufig beschränken wollen, auf das Genaueste kennen, so ist es doch, wie schon früher gesagt worden, sehr schwer, eine richtige und zugleich anschauliche Definition derselben zu geben. Als Grundform der Zelle ist die Kugel oder das Ellipsoid anzusehen, allein sie kann jede beliebige Gestalt annehmen. So kennen wir z. B. sternförmige (Binsen), dendritisch verzweigte (Algen), endlich schlauchförmig gestreckte (Bastzellen) Zellen. Wenn wir als unsere Definition der Zelle angaben, sie sei ein modificirter, d. h. organisirter Protoplasma-Haufen, so meinen wir, um die Resultate dieser Arbeit hier schon anzudeuten, daß Membranen, Inhalt und Kern der Zelle, modificirtes Protoplasma sein.

Es ist in neuerer Zeit, wie bekannt, ein heftiger Streit entbrannt, besonders zwischen Max Schultze, dem berühmten Vorkämpfer der neueren Richtung, und Reichert, dem tüchtigen Vertreter der älteren Ansichten (die, was die Morphologie der Zelle anbetrifft, noch fast dieselben sind, welche Schwann und Schleiden hatten), ob die Zellenmembran ein „absolut" nothwendiger Bestand-

theil der Zelle sei oder nicht. Unserer Ansicht nach ließe sich die Fehde leicht beilegen, wenn man daran denken wollte, welche physiologischen Aufgaben die Zelle haben kann, wenn man sich daran erinnern wollte, daß Folgendes ihre Zwecke sein können:

1) Für die Dauer des ganzen Lebens oder auch nur während einer bestimmten Periode im Anfange desselben eine einzelne Zelle zu sein.
2) Sich mit einer oder mehreren anderen Zellen zu einem zelligen Gewebe zu verbinden (Pflanzengewebe).
3) Durch Metamorphose, in Verbindung mit einer oder mehreren anderen Zellen zu einem Gewebe zu werden, in welchem auf den ersten Blick die zellige Natur nicht sogleich zu erkennen ist (thierische Gewebe).

Der leider so früh verstorbene Professor Schacht hat in seiner letzten Arbeit über die Spermatozoiden im Pflanzenreich unwiderleglich bewiesen, daß jene die Befruchtung vermittelnden Körperchen organisirte Individuen, d. h. Zellen sind, aber ohne sogenannte Zellstoffmembran, deren Vorhandensein uns die charakteristische blaue Färbung nach Anwendung der bekannten Reagentien beweist. Allein auch diese zelligen Gebilde können späterhin, wenn eins oder das andere zum Keimen kommt, d. h. Mutterzelle wird, eine vom Protoplasma chemisch differente Membran erhalten.

Wenn wir jedoch jetzt aus dem, was ad II und ad III gesagt ist, die Gewebsbildung als Zweck der Zelle hinstellen, so möchte wohl Niemand behaupten können, daß das Protoplasma im lebenden Zustande eine für die Gewebsbildung ausreichende Dichtigkeit habe. Es liegt hier der Gedanke nahe, daß vielmehr gleichsam ein Scelett nöthig sei, das die Festigkeit eines Gewebes bedingt und verstärkt. Dazu aber ist nichts geeigneter als die Zellstoffmembran. Es ist ein Verdienst der mathematischen Methode der heutigen Naturwissenschaften, daß auch auf die moleculären Vorgänge im Leben der Zelle jetzt mehr, als früher, Rücksicht genommen wird. Wie bekannt, ließ man früher Alles schlechtweg entweder

durch Intussusception oder durch Juxtaposition wachsen. Mit diesen beiden Ausdrücken glaubte man dann genug gesagt zu haben.

Die Bahn hat Nägeli mit seiner verdienstvollen Arbeit über die Stärkekörner gebrochen, ihr verdanken wir es, daß die Rücksichtnahme auf die moleculären Vorgänge der Erklärung des Wachsthums der Zellmembranen eine neue und sichere Grundlage gegeben hat. Leider sind wir jedoch hier noch nicht zu einem endgültigen, glücklichen Resultat gekommen und sind noch nicht so weit, wie mit der Erklärung des Wachsthums der Stärkekörner. Eben hier ist die chemische Zusammensetzung eine verhältnißmäßig einfache, trotzdem gelang die Erkenntniß des allgemeinen Gesetzes dem scharfsinnigen Gelehrten erst nach jahrelangem Studium.

Es ist jedoch kaum noch zu bezweifeln, daß die Stärkekörner zu dem Wachsthum der Membranen eine treffliche Analogie bilden, denn die Ansicht, daß die Zellhaut gleich den Stärkekörnern durch Einlagerung neuer Molecüle zwischen die bereits vorhandenen wächst, läßt sich eben nicht mehr zurückweisen.

Daß die Membran in einem secundären Verhältniß zum Protoplasma steht, d. h. ein Product desselben ist, brauche ich hier wohl nicht zu beweisen. Leider können wir es uns jedoch nicht verhehlen, daß die dabei mitwirkenden chemischen Vorgänge noch keineswegs vollkommen aufgeklärt sind. Grund davon scheint mir zu sein, daß es bisher noch keinem Mikroskopiker oder Chemiker gelungen ist, das Protoplasma in isolirtem Zustande zu analysiren. So wird man die Hindernisse wohl nicht unterschätzen, welche sich der Untersuchung, ob der Zellstoff, der doch höchstwahrscheinlich die causa efficiens ist, daß die Zellmembran sich aus dem Protoplasma abscheidet, im Zellsaft oder Protoplasma gelöst enthalten ist oder nicht, selbst einem sorgfältigen Beobachter lästig und hemmend entgegenstellen. Vielleicht aber gelingt es später einmal einem geübten und schwer zu ermüdenden Gelehrten, die Natur so zu belauschen, daß er uns sicher sagen kann, auf welche Weise der Bildungsstoff zur Cellulose erstarrt.

Wir haben bisher nur von der sogenannten primären Membran

der Pflanzenzelle gesprochen und wenden uns deshalb jetzt auch zu den sogenannten secundären Membranen. Während wir die primäre Membran uns aus einer, vielleicht plötzlich, an allen Theilen der äußeren Grenzschicht der Zelle zugleich eingetretenen Modification des Protoplasmas entstanden denken, entsteht die secundäre Membran aus allmählig sich bildenden Verdickungsschichten, deren Ursache wiederum auf ein allmähliges Gerinnen und eine allmählige chemische Modification des Protoplasmas zurückzuführen ist. In Folge dieses nicht zu gleicher Zeit und an allen Puncten der Peripherie eintretenden, sondern (sit venia verbo) willkürlichen Modificationsprocesses unterscheidet sich die secundäre Membran durch variirende Verdickung und Verdichtung in ihrer Structur wesentlich von der homogenen und symmetrischen primären Membran.

Auf den soeben beschriebenen Vorgang müssen wir die Entstehung der Spiralbänder zurückführen. Wichtiger für das Leben der Zelle sind die Poren. Unter Poren hat man kanalförmige Lücken in den Verdickungsschichten zu verstehen, und zwar sind diese Kanälchen so angeordnet, daß die sich gegenüberstehenden Poren zweier Zellen durch die primären Hüllen getrennt werden. Eine Modification der Poren sind die sogenannten Tüpfel der Holzzellen. Besonders charakteristisch sind dieselben bei den Coniferen. Auch hier ist es der schon einmal erwähnte Schacht, der zuerst das Dunkel aufgehellt hat. Die Tüpfel stehen in Längsreihen und sind an dem sie umgebenden Ring oder Hof leicht zu erkennen. Schacht verstand unter Tüpfel solche Poren zweier benachbarter Zellen, zwischen denen sich ein Tüpfelraum, d. h. eine linsenförmige mit einer festen Membran versehene Höhlung befindet. Eine dritte Art der Poren sind die Siebröhren, deren Vorkommen in den Bastzellen der Coniferen zuerst von Hartig nachgewiesen wurde. Alle Arten der Poren aber sind für die Diosmose, oder den Austausch der Säfte und Gase durch Membranen, von der allergrößten Wichtigkeit. Außerdem erhellt hieraus, daß die Zelle nicht nur zum Aufbau, sondern auch zur Ernährung eines einzelnen Gewebes oder ganzen Organismus wesentlich beisteuert.

Fast hätte ich jedoch vergessen, das, was Hugo v. Mohl, jener berühmte Botaniker, „Primordialschlauch" nennt, zu erwähnen. Viele Jahre hindurch ist darüber gestritten, ob dieser eine besondere Membran der Pflanzenzelle sei oder nicht. Hauptgegner der Ansicht, welche Mohl und seine Anhänger vertraten, war Pringsheim, der in überzeugender Weise nachwies, daß der sogenannte Primordialschlauch H. v. Mohl's entweder die äußerste Grenzschicht des Protoplasmas oder auch eine zu den bereits vorhandenen und daher nicht grundlos zu trennenden Verdichtungsschichten gehörende Cellulosehaut sei. Außerdem dürfen wir nicht übersehen, daß immer erst bestimmte Reagentien nothwendig sind, ehe wir den sogenannten Primordialschlauch überhaupt als selbstständiges Gebilde sehen können. Mithin könnte er auch ein Kunstproduct sein.

Verlassen wir jetzt die Zellmembranen und gehen über zu dem Inhalt der Zellen, welcher aus dem Kern, der Zellflüssigkeit und dem Protoplasma besteht. Als wesentlich für die Existenz der Zelle vermögen wir den Kern (nucleus) anzusehen. Er ist gleichsam ein kleines Zellchen in der Zelle. Er erscheint als ein rundes oder ovales, oft flaches, mehr oder weniger scharf umschriebenes Körperchen, in dessen meist durchsichtigem Inhalt wiederum eine Menge Kernkörperchen (nucleoli) suspendirt sind. Ich glaube hier es übergehen zu können, wie der Zellkern sich durch Theilung eines schon vorhandenen Kernes bildet; wichtiger ist für uns die Entstehung des Kernes aus dem Protoplasma. Wie Schacht bemerkt und wie dieser berühmte Forscher es mir selbst gezeigt hat, verfolgt man diesen Vorgang am besten im Embryosack der Phanerogamen. In dem im Embryosack bekanntlich längs der Wand hinströmenden Protoplasma sind außer den Körnchen des eigentlichen Protoplasmas, die wir später besprechen werden, noch andere Gebilde eingebettet, die sich bei scharfen, guten Vergrößerungen dem Beobachter alsbald als schon fertige Kernkörper und Kernkörperchen enthüllen. Der einzige Einwand, der vielleicht hier zu erheben wäre, könnte der sein, daß damit zwar der erste Fundort des Zellkernes erwiesen sei, aber immer noch nicht sein wirkliches Werden

aus dem Protoplasma selbst. Ueber den Einfluß, welchen der Zellkern auf die Zellenbildung hat, besteht unter den neueren Forschern wohl keine Controverse.

So können wir denn unsere ganze Aufmerksamkeit jetzt dem Protoplasma zuwenden, jenem viel umstrittenen Stoff, der von Hugo v. Mohl entdeckt, in neuerer Zeit durch die klassischen Untersuchungen von Max Schultze in Bonn, das lebhafteste Interesse erweckt hat. Zoologen und Botaniker sind seitdem in gleicher Weise für diesen Stoff interessirt. Wer der Entwickelung der Protoplasma-Frage gefolgt ist, der wird von mir keine ausführliche, alle Details betreffende Darstellung verlangen. Ich hoffe vielmehr auch mit einer generellen kritischen Uebersicht dem Vorwurf der Oberflächlichkeit entgehen zu können.

Die Disposition, nach der wir diesen Theil unserer Arbeit ausführen wollen, fällt mit folgenden vier Fragen zusammen:

1) **Woher kommt der Name Protoplasma?**
2) **Woraus besteht das Protoplasma?**
3) **Wo kommt das Protoplasma vor und welche Erscheinungen bietet es dem Beobachter dar?**
4) **Wie sind die Erscheinungen des Protoplasmas zu erklären?**

I.
Woher kommt der Name Protoplasma?

Möge es mir gestattet sein, hier einige geschichtliche Notizen, die Schacht giebt, zu erwähnen.

Die sogenannte Rotation des Zellsaftes, welche bereits Corti im Jahre 1772 entdeckte, fand von Seiten der Gelehrten wunderbarerweise so wenig Beachtung, daß, als der berühmte Pflanzenphysiologe Treviranus (gest. zu Bonn 1864) sie zum zweitenmal auffand, Niemand gegen diese „neue" Entdeckung protestirte. Hugo v. Mohl brachte zuerst den Namen Protoplasma vor, welcher dann auch von allen Botanikern als passend und gut acceptirt wurde. Durch einige Untersuchungen von Unger angeregt, widmete dann auch Max Schultze sich dem Studium dieses Gegenstandes mit voller Energie. Schon lange nämlich kannte man in der feineren thierischen Anatomie einen dem Protoplasma ähnlichen Stoff, genannt Sarkode, ohne daß Jemand ausdrücklich diese Aehnlichkeit oder gar Identität mit dem Protoplasma ausgesprochen hätte. Max Schultze fand nun in Helgoland Gelegenheit, die Erscheinungen des Protoplasmas, wie sie uns die Pflanzen darbieten, mit denen der Pseudopodien der Rhizopoden zu vergleichen*). In Folge dessen erschien in dem Archiv für Physiologie und Anatomie von Reichert und du Bois-Reymond ein Aufsatz, der auf die Dringlichkeit vergleichender Untersuchungen über das Protoplasma und die Sarkode aufmerksam machte**). Erst 1860 glaubte Max Schultze die herrschenden Vorurtheile so weit besiegt zu haben, daß er den Vorschlag machen konnte, das mißliebige Wort „Sarkode" ganz zu verbannen und mit dem Worte Protoplasma zu vertauschen, in welchem, wie seine Worte lauten, der Triumph der Zellen-

---

*) Das Protoplasma der Rhizopoden und der Pflanzenzellen, ein Beitrag zur Theorie der Zelle, von Max Schultze. Leipzig. 1863.

**) Du Bois-Reymond und Reichert's Archiv für Anatomie und Physiologie. 1858.

theorie auch über diese niedersten organischen Gebilde ausgedrückt liegt*). Im Allgemeinen wurde auch auf diesen Vorschlag eingegangen und überall traten mit erneutem Interesse die Männer der Wissenschaft an diese Frage heran. Auch Reichert, jener berühmte Zellentheoretiker, zu dessen Hauptverdienst es gehört, daß er jene Gruppirung, nämlich Bindegewebe, Knorpel und Knochen als zusammengehörig zuerst unter dem Namen Bindesubstanz**) aufführte, beschäftigte sich vielfach mit dieser Sache. Allein ein unglückseliges Vorurtheil gegen den Namen Protoplasma, den er sowohl in seinen Schriften, als seinen Schülern und Zuhörern gegenüber als Urschleim, in dem so etwas wie die alte Lebenskraft umherspuke, zu demonstriren sich bemühte, brachte ihn dahin, die ganze Theorie zu verwerfen.

II.

Woraus besteht das Protoplasma?

Die Frage, woraus entsteht oder besteht das Protoplasma, führt uns in ein Gebiet der Pflanzenphysiologie, in welches Licht zu bringen, zahlreiche Hypothesen sich meist vergeblich bemüht haben. Der Grund davon ist schon an einer früheren Stelle dieser Arbeit von mir angedeutet worden; er besteht nämlich in der Unmöglichkeit, das Protoplasma zu isoliren und dann der Reihe nach sämmtliche Reagentien, die uns für organische Verbindungen gegeben sind, darauf anzuwenden.

Da nun in den Naturwissenschaften nur das wirklich Bewiesene Anspruch auf Anerkennung haben kann, so erklären wir das allgemeine Resultat jener Hypothesen auch nur für das provisorisch

---

*) Archiv für Zoologie. 1860. pag. 300.

**) Vergleichende Beobachtungen über das Bindegewebe und die verwandten Gebilde (Dorpat).

Wahrscheinliche und würden uns sofort einem stichhaltigen Gegenbeweise anschließen, auch wenn nichts neues Positives dadurch an die Stelle des alten Unhaltbaren gesetzt würde. Es ist meiner Meinung nach eben nicht immer eine Schande, zu sagen: **nescimus.**

Aeußerlich kann man mit Pringsheim*) zwei Schichten, eine äußere, die sogenannte Hautschicht, und eine innere, die Körnerschicht, annehmen. Die innere Schicht muß man sich jedoch noch als aus zwei Theilen, dem Plasma und den Körnerchen, bestehend denken. Die Frage über die innere Natur des Protoplasmas, oder welche chemische Formel sich für dasselbe aufstellen läßt, ist nicht direct zu beantworten. Sie ist zurückzuführen auf die Formel vom Eiweiß. Allein wir besitzen keine einzige rationelle Formel, in welcher die so mannigfachen Zersetzungen der Eiweißkörper sich ausdrücken lassen. Es ist das erklärlich, weil eben jene Zersetzungen selbst noch nicht gründlich und nach allen Richtungen hin studirt sind. Für ein charakteristisches Merkmal wurde früher der amorphe Zustand gehalten; aber auch diese Meinung ist nicht richtig, denn Eiweiß kann sogar, wie Reichert zuerst gezeigt hat, Hauptbestandtheil eines Krystalles sein. Die Wahrscheinlichkeit, daß Eiweißkörper auch für das Protoplasma der Grundstoff sind, geht daraus hervor, daß die ganze Zelle ursprünglich aus Eiweiß besteht. Soll nun eine Differenzirung stattfinden, so müssen die vorhandenen Stoffe doch auch stets an der Entstehung der neuen chemischen Verbindungen mitarbeiten. Wie bekannt, sind sämmtliche Modificationen des Eiweißes in ihren chemischen Eigenschaften gleich; auch die mikrochemische Analyse ergiebt, daß sie in Alkalien löslich sind und aus ihren Lösungen durch Säuren und schwere Metallsalze gefällt werden. Wir müssen jedoch immer wieder daran erinnern, daß zwischen den Eiweißmolecülen sehr wohl noch Partikelchen anderer Stoffe sein können, die so übersehen werden, welche aber doch von relativ großer Bedeutung sein könnten.

---

*) Pringsheim, Der Bau und die Bildung der Pflanzenzelle. Berlin. 1854.

So verlassen wir denn jetzt diesen Gegenstand mit dem Wunsche, daß eine nicht zu entfernte Zeit über alle in diesem Capitel behandelten Fragen wahren Aufschluß geben möge.

III.

Wo kommt das Protoplasma vor und welche Erscheinungen bietet es dem Beobachter dar?

Das Protoplasma ist der in allen jugendlichen Zellen prävalirende Stoff; überall, wo wir Zellen finden, deren Lage und Ausbildung sie besonders zur Entwickelung geeignet erscheinen läßt, so z. B. die Zellen des Vegetationskegels, da sehen wir sowohl das Plasma wie die Körnchen in großer Zahl und Menge. Die Vergleichung aller bisher untersuchten Protoplasma-Ströme läßt hauptsächlich zwei, wenn ich so sagen darf, Strömungssysteme unterscheiden. Einmal bewegt das Protoplasma, welches in der Peripherie der Zelle den Membranen anliegt (wandständiges Protoplasma), sich gleichsam wie eine Kugelschale um irgend eine imaginäre größte Achse. Unter dem Mikroskop giebt der optische Querschnitt uns folgendes Bild: der einfache, nur im Umkreis der Zelle thätige Protoplasma-Strom steigt an der einen Zellwand in die Höhe, biegt am Ende derselben um, steigt an der anderen Seite wiederum hinab. Wir haben schon durch die Worte „nur im Umkreis thätig" angedeutet, daß bei diesem Stromsystem keinerlei radiale, d. h. auf das den Kern umgebende Protoplasma gerichtete Seitenströmchen sich zeigen. In der Circulation des wandständigen Protoplasmas selbst kommen nun kleine Modificationen vor, indem wir einmal nur eine einzige Kugelschale, das andere mal mehrere in Rotation begriffene sehen. Das mikroskopische Bild des optischen Querschnittes zeigt uns also im letzteren Falle concentrische Ringe, die in gleicher Richtung, freilich nicht immer mit gleicher Geschwindigkeit rotiren. Da die Nitella-Arten und Charen am bequemsten sind, so werden sie auch am häufigsten zur Untersuchung gebraucht.

Ganz außerordentlich günstig für die Beobachtung sind auch die feinen Wurzelhärchen von **Hydrocharis morsus ranae**; jedes einzelne derselben besteht bekanntlich aus einer einzigen langgestreckten Zelle. Die Blätter der **Vallisneria spiralis**, die in südeuropäischen Sümpfen wächst, habe ich zu wiederholten malen zu beobachten Gelegenheit gehabt, indem mir der Herr Universitätsgärtner Sauer die Freundlichkeit erwies, mich stets auf das Bereitwilligste damit zu versorgen.

Jeder beliebige Längsschnitt zeigt uns hier das Protoplasma; meist sehen wir hier sogar die wohl geordneten Chlorophyllkörner in Bewegung und wohl gar auch den Kern in Schwankungen gerathen. Wir müssen hier also (die Zelle als Kugel gedacht) uns die ganze Kugel mit concentrischen Kugelschalen angefüllt und diese wiederum in Rotation begriffen denken. Von wirklichen Seitenströmen habe ich bei Vallisneria nirgends auch nur eine Spur entdecken können.

Das zweite Stromsystem ist das radiär-peripherische. Längs der Zellwand steigen Ströme auf und nieder, aber an allen Punkten dieser Peripherie treffen vom Kern, oder vielmehr von dem den Kern umgebenden Protoplasma in radiärer Richtung entsandte Seitenströme ein. Dieses Stromsystem zeigen uns am Besten die Staubfäden der Tradescantia-Arten. Allein ich glaube nicht, da wohl alle Arbeiten über Protoplasma der günstigen Gelegenheit, welche uns die Tradescantien bieten, erwähnt haben, ja viele sogar gute Abbildungen derselben lieferten, hier noch näher darauf eingehen zu müssen. Einen Uebergang zwischen diesen beiden Stromsystemen sehen wir durch **Oenothera muricata** angebahnt. An den Haaren des jungen Fruchtknotens derselben zeigt uns nämlich der optische Querschnitt des mikroskopischen Bildes die Richtung der Stromwellen in Form einer langgestreckten deutschen Acht.

Ich will hier nur noch die Eintheilung in circulirende und rotirende Ströme erwähnen, die ich aber nicht vertheidigen kann, da sie künstlich ist und durch sie durchaus nichts Neues für die Wissenschaft gewonnen wird.

IV.
Wie sind die Erscheinungen des Protoplasmas zu erklären?

Wir kommen jetzt zu dem schwierigsten Theil unserer Aufgabe, nämlich diejenigen Erscheinungen, welche wir im vorigen Capitel beschrieben haben, auf irgend einen bestimmten chemischen oder physikalischen Vorgang zurückzuführen, d. h. physiologisch zu erklären. Die große Schwierigkeit liegt nicht sowohl in der Sache selbst, als in den Controversen verschiedener neuerer Forscher. Wo immer eine neue Theorie auftritt, da bilden sich zwei feindliche Lager. Manch bittres Wort fliegt hinüber, herüber! Die Anhänger der alten Ansichten halten den hochfliegenden Plänen der Neuen oft nur das Panier des Dogmas entgegen und oft dauert es lange Zeit, bis die Wogen der Aufregung sich gelegt haben und die Wissenschaft in ruhiger nüchterner Weise sichtet und vereint. Dies gilt auch von der Protoplasma-Frage.

Da ich es leider nicht vermag, etwas Neues aufzustellen, so muß ich mich darauf beschränken, die schon aufgestellten Hypothesen einer eingehenderen Kritik zu unterwerfen.

Eine offenbar nur oberflächliche Beobachtungsweise der Tradescantia-Arten hatte C. H. Schultz dazu verführt, im Innern der Zelle ein Gefäßsystem anzunehmen und damit die Bewegungen des Protoplasmas zu erklären. Der berühmte Botaniker Meyen acceptirte sogar diese Ansicht, welche wohl jetzt kein Mensch mehr theilt. Denn es kann wohl kaum einem aufmerksamen Beobachter entgangen sein, wie oft Seitenströme, die sich selbst wieder dann vielfach verzweigen und von einer Wand zur anderen oder zum Zellkern hin- und zurückgehen, ganz spontan entstehen. Auch die Ansicht, daß das Sichtbarwerden jener Strömchen kein neues Auftreten sei, sondern auf die Injection bisher ungefüllter Capillaren zurückzuführen sei, ist eine unglückliche und wird dadurch gründlich widerlegt, daß es constatirt ist, wie ein solcher neuer Seitenstrom

allmählig anschwellen und schließlich bedeutend dicker werden kann als der Hauptstrom, von welchem er ausgegangen. Auch ist mit den schärfsten und besten Objectiven der neueren Optiker nicht die leiseste Spur einer Gefäßmembran zu entdecken. Eine zweite Ansicht, auf die wir hier Rücksicht nehmen müssen, ist von Reichert aufgestellt und in einer besonderen Abhandlung, die er in der Königlichen Academie der Wissenschaften vorgelesen hat, vertheidigt worden*).

Diese Arbeit des hochgeehrten Anatomen will für sich den Vorzug geltend machen, der Erklärung der fraglichen Phänomene eine neue „thatsächliche" Grundlage zu geben.

Aber man darf es sich nie verhehlen, daß man sich auch in Bezug auf Thatsachen irren kann. Es ist ein stilistischer Kunstgriff, durch den Gebrauch des Wortes „Thatsache" eine solche oder eine reale Existenz constatiren zu wollen. Der enorme Aufschwung, welchen die Naturwissenschaften in den letzten Decennien genommen haben, hat auch für die Untersuchungen auf mikroskopischem Felde ein durchgreifendes Interesse erregt. Jeder wollte helfen, in dem neuen Acker die Furchen zu ziehen und arbeitete emsig, um „neue Thatsachen" zu finden. Wie es aber mit solchen glücklichen Funden manchmal steht, das beweist wohl am besten ein Vergleich der oft von Jahr zu Jahr sich erneuernden Auflagen von Kölliker's Gewebelehre. In dem einen Jahre ist es eine Thatsache, daß der hyaline Knorpel nicht ossificiren kann; im nächsten Jahre ist es schon wiederum eine „Thatsache", daß der hyaline Knorpel ossificirungsfähig ist. Ja eine Auflage hat das Mißgeschick, beide Thatsachen aufzuführen. So kann man auch Etwas als eine neu gefundene, vorher von allen Anderen übersehene Thatsache hinstellen, was in den Werken anderer Schriftsteller, freilich unter anderem Namen, schon längst seinen Platz gefunden hat. Ich fürchte, es

---

*) Ueber die Saftströmung (Rotation, Circulation) der Pflanzenzellen mit Rücksicht auf die Contractionsfrage (Reichert's und du Bois-Reymond's Archiv. 1866. Heft 4).

wird Reichert, meinem sonst so hochverehrten Lehrer, mit seiner „Mantelschicht" nicht anders gehen.

Hier sind einige allgemeine Bemerkungen einzuschalten. Mit dem wachsenden Interesse an den Naturwissenschaften hat leider in manchen Kreisen das Interesse an den philosophischen Disciplinen (im engeren Sinne) abgenommen. Freilich die einfachsten Gesetze der formalen Logik sollte jedes mit Vernunft und Verstand begabte Individuum nicht erst aus dem Munde des Professors oder aus Büchern kennen zu lernen brauchen; das sollte man vielmehr für Lebensbedingungen des Verstandes halten dürfen. Allein dem ist in Wirklichkeit leider nicht so. Für irgend einen physiologischen Vorgang z. B. wird ein beliebiger Grund aufgestellt und nun gezeigt, daß, wenn man genügende Dialektik besitzt, sich Alles folgern läßt. Geht man aber nicht von anerkannten Axiomen aus, so muß man auch die Prämissen beweisen. Hat dies Reichert mit seiner Mantelschicht gethan? Scheinbar ja! Er hat bewiesen, daß die Mantelschicht rotirt oder circulirt. Allein worauf es hauptsächlich ankommt, nämlich den Beweis zu führen, daß die sogenannte Mantelschicht wirklich das primäre Agens sei, das hat er leider unterlassen. Wenigstens hat er es unterlassen, die seiner Lehre entgegenstehenden Thatsachen zu erwähnen und möglichst zu entkräften. Ehe ich jedoch diese näher erörtere, muß ich auch meine bescheidenen Zweifel an dieser neuen Entdeckung, dieser neuen thatsächlichen Grundlage äußern.

Reichert's Beschreibung des Zelleninhaltes (sic): „Der ruhende „Bestandtheil der Zellflüssigkeit, oder der Zellsaft der Botaniker, „nimmt den der „Axe" zunächst gelegenen Raum der Zellenkapsel „ein"*), ist nicht leicht verständlich. Jeder Körper hat ja doch mindestens zwei Axen, eine Längs- und eine Queraxe; welche nun ist gemeint? Außerdem füllt der Zellsaft doch wohl, wie allgemeine Ansicht ist, alle Lücken in der Zelle, die von den festen Bestandtheilen, dem Kern, dem Chlorophyll und anderen festen

*) Besonderer Abdruck aus dem Archiv. Heft 4, pag. 4.

Stoffen und Krystallen, so wie von dem Protoplasma im Inneren derselben freigelassen, ohne Rücksicht auf Stereometrie aus. Auch die sogenannten Vacuolen im Protoplasma sind Zellsaft. Zellsaft und Protoplasma durchdringen sich, wie doch wohl zur Genüge bewiesen ist, in ganz unregelmäßiger Weise. Wie schon oben gesagt, besteht nach Reichert eine sogenannte „Mantelschicht", als Agens der Protoplasmaströme, im Inneren der Zelle. Wir müssen hier wörtlich seine Angaben wiederholen:

„Der in Bewegung begriffene Bestandtheil, die „Man-
„telschicht", ist in der Mantelregion und berührt, scheinbar
„wenigstens, unmittelbar die Innenfläche der Kapselwand."

Diese Mantelflüssigkeit soll nach Reichert in ihrer wahren Natur nur von Nägeli und dann von Brücke erkannt sein. Ganz neu ist die ihr bisher nur von Reichert allein zugeschriebene primäre Bewegungskraft. Leider scheinen, abgesehen von anderen Schriften über die Morphologie der Zelle, dem letztgenannten Anatomen Pringsheim's Untersuchungen über den Bau und die Bildung der Pflanzenzellen nicht bekannt genug geworden zu sein, sonst würde er doch von der wissenschaftlichen Existenz einer Hautschicht des Protoplasmas gewußt haben*). Diese Hautschicht, welche an der Peripherie aller Protoplasma-Massen sich befindet, ist zwar dünn, jedoch meßbar. Als Unterschied dieser Hautschicht von der Körnerschicht ist schon, wie der letztere Name bezeugt, das Fehlen von Körnchen anzuführen; zweitens, und hierauf legen wir das größte Gewicht, ein g e r i n g e r e r Grad von Beweglichkeit. So möchte sich Reichert's neu gefundene Hautschicht doch wohl als die schon im Jahre 1854 von Pringsheim wissenschaftlich behandelte, hyaline Hautschicht des Protoplasma's entpuppen.

Wenn nun schon allein die geringere Bewegungsgeschwindigkeit des hyalinen Protoplasma's (Myxomyceten)**) hinlänglich beweist,

---

*) Untersuchungen über Bau und Bildung der Pflanzenzelle. Berlin. 1854. pag. 8.

**) Wilh. Hofmeister. Band I. Lehre von der Pflanzenzelle.

daß Reichert's Annahme, die Protoplasma-Ströme seien Product der Bewegung der Mantelflüssigkeit, eine irrige ist, so wollen wir doch zur Bekräftigung unserer Ansicht noch auf andere Vorgänge zurückgehen.

Wird die primäre Causa einer secundären Erscheinung vernichtet, so muß logischerweise auch das Secundäre, da es doch nur die logische Consequenz des ersteren sein kann, in seiner wesentlichen Natur verändert und vernichtet werden. Bleiben jedoch die vermeintlichen secundären Erscheinungen wesentlich dieselben, so ist der Rückschluß erlaubt, daß sie von jener vermeintlichen primären Causa unabhängig oder wenigstens nicht wesentlich abhängig sind. Können wir nun, sei es durch mechanische Eingriffe, sei es durch chemische Reize, die Wandschicht des Protoplasma's wesentlich verändern, ohne daß die Protoplasma-Ströme im Innern der Zelle für immer aufhören zu strömen, so, denke ich, ist Reichert's Ansicht direct von uns widerlegt. Der Italiener Gozzi hat schon im Anfange dieses Jahrhunderts durch Einknickung oder durch sinnreiche Anwendung von Ligaturen bei den Zellen der Chara-Arten gezeigt, wie eine solche Manipulation nur geeignet ist, auf kurze Zeit den Strom zu unterbrechen und daß bald sich die ehemalige Lebhaftigkeit der Bewegung wieder einstellt. Hier könnte Reichert freilich an eine schnelle Wiedervereinigung der Mantelflüssigkeit appelliren; allein es ist ausnahmslos beobachtet worden, daß die von mir mit „radiär" bezeichneten Ströme früher als der peripherische Strom wieder in Bewegung gerathen. Hofmeister führt in seinem soeben erschienenen Buch: Die Pflanzenzelle, § 10, pag. 50, nun ausdrücklich an, daß selbst eine directe Durchschneidung der Zelle den Strom nur hemmt, aber nicht dauernd aufhebt. Er hat diese Beobachtung an den Wurzelhaaren von Hydrocharis morsus ranae gemacht. Außer diesen Experimenten, welche ich der Controlle wegen des Oefteren selbst wiederholt habe, bin ich so glücklich, eine jene Versuche im Princip eclatant bestätigende eigene Beobachtung anzuführen. Ich wollte nämlich die mechanischen Einwirkungen eines Compressoriums auf die Saftströme in den Staubfäden der Tradescantia virginica

untersuchen. Der Druck wurde durch zwei Ringe, aufgehängt nach dem cardanischen Princip, ausgeübt. Mit Hilfe dieses von Bénéche zweckmäßig construirten Instrumentes kann man sogar auf die dünnsten Deckgläschen einen bedeutenden Druck ausüben. Beim Anziehen der die Compression bewirkenden Feder wurde die Strömung allmählig langsamer, bis plötzlich an einer kleinen Stelle die Cellulosekapsel platzte, und der blau gefärbte Zellsaft, aus der Zelle heraustretend, sich in das Wasser ergoß. Die Rotation der Mantelflüssigkeit stand sofort still. Wenige Secunden später, ja beinahe unmittelbar darauf, schob das körnerreiche Protoplasma jedoch einen Faden in die Lücke der Membran hinein und von dort in den sich schon mit dem Wasser mischenden Zellsaft. Ein Zurückziehen des Fadens in seiner Totalität konnte nicht beobachtet werden, wohl aber, daß einzelne Körnchen auf ihrer Wanderung inne hielten, um heim in die alte Behausung, die Zelle, zu kehren. Ich habe die so eben beschriebene Beobachtung sofort Reichert und Lieberkühn mitgetheilt. Leider ist es mir nicht wieder gelungen, Dasselbe zu erreichen. Eben nur das Glück kann ein solches Präparat herbeiführen, dessen Herstellung nicht in der Macht des geübtesten Beobachters liegen möchte. Was beweist nun dieses Präparat? Ich glaube es giebt keine andere Antwort, als die: da die sogenannte Mantelschicht in ihrer Bewegung sistirt war, und dessenungeachtet die Protoplasma-Ströme im Innern ungehindert waren, so sind die letzteren unabhängig von der Mantelflüssigkeit. Diese Beobachtung allein sollte eigentlich schon genügen, die Irrigkeit der Reichert'schen Hypothese unwiderlegbar dargethan zu haben. Allein, da die Wiederholung der von mir gemachten Beobachtung vielleicht längere Zeit auf sich warten lassen könnte, so will ich hier noch einiges Andere, was gegen Reichert spricht und wovon sich Jedermann selbst überzeugen kann, anführen. Hofmeister beschreibt in seiner Pflanzenzelle, pag. 52 (§ 10) vorübergehende Störungen der Protoplasma-Bewegungen wie folgt:

„Bei Behandlung einer Zelle, die strömendes Proto-
„plasma enthält, mit der wässrigen Lösung eines der

„Lebensthätigkeit der Zelle nicht unmittelbar nachthei-
„ligen Stoffes von einer Concentration, welche die
„rasche Zusammenziehung des protoplasmatischen Inhaltes
„bewirkt, stockt die fließende Bewegung auf kurze Zeit,
„während der Contraction des protoplasmatischen Inhaltes,
„um bald wiederum innerhalb der an der raschen Strö-
„mung nicht betheiligten Hautschicht desselben wieder zu
„beginnen."

Ich habe diese Beobachtung zu wiederholten malen mit einer schwachen Zuckerlösung an allen den Pflanzen, die mir zu Gebote standen, selbst gemacht, und immer dabei die schon 1852 von Braun beschriebenen Resultate erlangt. Hofmeister giebt ferner an, wie diese Versuche noch leichter mit Lösungen von salpetersaurem Kali, salpetersaurem Natron und kohlensaurem Ammoniak gelängen. Pag. 53 stellt er ausdrücklich als den aus diesen Beobachtungen zu machenden Schluß folgenden Satz auf:

„Nach der Contraction des protoplasmatischen Zellen-
„inhaltes mit beweglichem Protoplasma wird es in allen
„Fällen der directen mikroskopischen Beobachtung unmittel-
„bar anschaulich, daß die peripherische Schicht (die Haut-
„schicht) des zusammengezogenenen Inhaltes an den flie-
„ßenden Bewegungen unbetheiligt bleibt; auch da, wo
„diese Schicht eine äußerst dünne ist, wie z. B. in den
„Wurzelhaaren von Hydrocharis, in den Blattzellen von
„Vallisneria."

Wenn diese Wandschicht also unbetheiligt bleibt, so kann sie auch nicht der sichtbare primäre Bewegungsgrund sein. Wir verlassen jetzt diese neue Hypothese Reichert's, um noch einen kurzen Rückblick auf einen früher von demselben Forscher gemachten Erklärungsversuch zu werfen. Vor wenigen Jahren nämlich stellte Reichert die Behauptung auf, die Körnchen des Protoplasmas seien nur optische Täuschungen, aber keine realen Existenzen. Reichert construirte sich das Bild eines Körnchens nur als „eine in Fortbewegung begriffene Schlinge", oder als „eine fortschreitende Con-

tractionswelle". Irgend ein sichtbar ruhendes Körnchen wollte er nie bemerkt haben. Die körnige Zeichnung sollte nach ihm nur im Contractionszustande hervortreten und als Unebenheiten der Oberfläche gedeutet werden. Jetzt redet Reichert selbst nicht mehr von „scheinbaren", „sogenannten" Körnchen und deren Bewegungen. Man kann ja allenthalben die Bewegung sistiren, nirgends aber damit zugleich alle Körnchen vernichten. Wirklich ruhende Ströme kann man am besten bei **Oenothera muricata** beobachten. Schacht nahm die chemische Thätigkeit zwischen der Körnerschicht und der Zellflüssigkeit als die Ursache der Bewegung an. Daß das Protoplasma für die Entwickelung und das Leben der Zelle von der allergrößten Wichtigkeit ist, haben wir gesehen; aber allein durch chemische Processe ist das oft so regelmäßige Stromnetz nicht zu erklären. Es ist die chemische Wechselwirkung zwischen Zellflüssigkeit und Protoplasma vielleicht eine der Ursachen, aber nicht die einzige.

Jetzt bleibt uns nur noch übrig, die Ansichten Derer, welche als Grund auch der Bewegungserscheinungen des Pflanzenprotoplasma's die Contractilität hinstellen, einer eingehenden Kritik zu unterwerfen.

Zunächst müssen wir aber den Begriff „Contractilität" definiren. Allein so bekannt wie auch die Wirkung derselben bei einem bestimmten Ganzen, dem Muskel, ist, so schwer ist es auch, den allgemeinen Begriff aus den Erscheinungen zu abstrahiren. Wir wissen genau, wie der galvanische Batteriestrom, wie der Inductionsstrom, wie bestimmte mechanische oder chemische Reize auf einen Muskel wirken; d. h. wir kennen die Summe der Wirkung. Allein eine Analyse der bei der Contraction eines Muskels im Inneren desselben stattfindenden Formveränderungen können wir genau nur bis zu den Primitivbündeln verfolgen. Da aber der ganze Begriff „Contractilität" von dem organischen Muskel herrührt, so müssen wir hier näher auf die Structur und Textur eines sogenannten quergestreiften Muskels eingehen. Der ganze Muskel besitzt sowohl eine Auskleidung als ein Gerüst von Bindegewebe; immer enger

und enger werden die Maschen desselben, bis sie als Sarkolemm die letzten erkennbaren kleinsten Elementartheile, die sogenannten sarcous-elements, einschließen. Umgiebt nun dieses Sarkolemm eine compacte oder eine flüssige Masse? Diese Frage ist nach beiden Seiten hin beantwortet worden! Sollte es auch einmal gelingen zu beweisen, daß der Inhalt jener letzten Muskelelemente einen festen Aggregatzustand besitzt, so wäre damit allein doch durchaus noch nicht bewiesen, daß jede contractile Substanz in festem Aggregatzustand sein muß. Es bliebe immer noch die Aufgabe, von tropfbarflüssigen Substanzen ausdrücklich das Gegentheil zu beweisen.

Fragen wir uns aber, ob die Atomentheorie nicht schließlich die scheinbaren Verschiedenheiten der drei Aggregatzustände: fest, flüssig und gasförmig als drei Modificationen eines Cohäsionszustandes aufklärt?

Beruht nicht der ganze Unterschied jener Modificationen nur auf der verschiedenen Dichtigkeit der das Ganze bildenden Atomgruppen? Mir scheint demnach die Frage, ob Contractilität an eine feste oder flüssige Substanz gebunden sei, nicht von principieller Wichtigkeit zu sein. Somit kann ich auch die Behauptung Reichert's, Contractilität sei immer mit einer „mathematisch" bestimmbaren Formveränderung verbunden, jetzt als erledigt betrachten. Vielmehr ist die erste und einzige Grundbedingung einer contractilen Substanz die, daß sie die Fähigkeit besitzen muß, in Folge irgend eines Impulses ihre Atome derartig zu verändern, daß sie zeitweise nach irgend einer Richtung hin ihre ursprüngliche Gruppirung aufgeben, um dann, wenn der betreffende Impuls aufgehört hat zu wirken, in die alte Lage zurückzukehren. Diese letztere Fähigkeit kann allerdings vernichtet werden, wenn die besagten Impulse so stark gewesen sind, daß sie eine förmliche Starre hervorgerufen oder eine chemische Zersetzung und Umwandlung der betreffenden Grundsubstanz eingeleitet haben. Diese Vorstellung von Contractilität auf das Protoplasma auszudehnen, sind wir, meiner Meinung nach, im vollkommensten Maße berechtigt. Denn die Grundsubstanz des Protoplasma's hat offenbar die Fähigkeit, sich in ihren Elementen

nach verschiedenen Richtungen auszudehnen und zusammenzuziehen, wie die nur passiv, d. h. in Folge der Contractionswellen bewegten Körnchen, die im Plasma eingebettet sind, zur Genüge beweisen. Wenn nun auch theoretisch die Contractilität des Protoplasma's festgestellt ist, so müssen wir uns doch noch nach thatsächlichen Beweisen umsehen. Deshalb haben wir jetzt zu prüfen, ob alle jene chemischen oder physikalischen Reize, welche auf die Muskelfaser contrahirend einwirken, auch eine gleiche oder gleichartige Wirkung auf das Protoplasma der Pflanzen ausüben oder nicht.

Dahin gehört vor allen Dingen die Anwendung des galvanischen und inducirten Stromes. Alle bisher beschriebenen Vorrichtungen, welche diesem Zwecke dienen sollen, leiden jedoch an einem großen principiellen Fehler. Dadurch nämlich, daß man als eigentliche Electroden irgend ein Metall (Stanniol, Platin, Kupfer 2c.) verwendet hat, ist der Polarisation Thür und Thor geöffnet. Man hat nicht daran gedacht, daß an der einen Seite sich Säuren, an der anderen Alkalien bilden, die auf eine dem Stoffwechsel so zugängige Substanz, wie das Protoplasma es doch ist, schnell zerstörend und verheerend einwirken müssen. Auch kann die relativ starke Gasentwickelung die Beobachtung bald wesentlich hindern. Wenn man nun noch die Einwirkung des eigentlich beabsichtigten reinen constanten oder inducirten Stromes in Betracht zieht, so hat man schließlich ein solches Mixtum von chemischen und physikalischen Vorgängen, daß die Verfolgung des ursprünglichen Zweckes eine rein illusorische wird. Man hat also bei Herstellung eines Objectträgers für die Einwirkung der Electricität hauptsächlich auf die Vermeidung der Polarisation sein Augenmerk zu legen. Den von mir zu dem Zweck construirten Objectträger werde ich im Anhang abbilden und beschreiben*).

Die nun von mir an einer großen Reihe von Präparaten gemachten Untersuchungen haben das, was frühere Arbeiten als das

---

*) Dieser Anhang erscheint im nächsten Heft des Archivs für mikroskopische Anatomie, von Max Schultze in Bonn, als besonderer Aufsatz.

Resultat hingestellt haben, lediglich bestätigt. Danach müssen wir dem Protoplasma Contractilität und Irritabilität zusprechen. Am besten läßt sich durch den Inductionsstrom eine Contraction und in Folge derselben eine Bewegung des ruhenden Stromes erzielen (Oenothera muricata); bald jedoch tritt wieder Stillstand ein, der jedoch auf Zerstörung der Grundsubstanz beruht. Das ist leicht zu erklären. Denn wie Kühne mit Recht bemerkt, können wir annehmen, daß die Grundsubstanz des Protoplasma's in allen ihren Elementartheilen gleichmäßig contractil sei. So wirkt denn auch der angewendete Reiz auf allen Stellen gleich mächtig und kann es daher nicht verwundern, wenn schon in Folge von nur wenigen, aber starken Inductionsschlägen, in Folge also der Gesammtwirkung, d. h. der Wirkung auf das Ganze, die Bewegung aufhört und eine Starre, ähnlich der Muskelstarre, eintritt. Das Protoplasma kann jedoch, wenn ein solcher Grad von Contraction erreicht ist, natürlich nicht wieder zu dem alten Zustande erschlaffen, weil gleichzeitig mit der Starre eine wesentliche chemische Veränderung sich vollzogen hat, wie der sich in solchen Fällen oft bildende und ganz von der primären Membran ablösende Primordialschlauch hinreichend beweist. Will man ein Wiedererschlaffen des Protoplasmas, d. h. ein Zurückkehren desselben in die Formen eines normalen Stromnetzes, beobachten, so darf man natürlich nur so schwache Inductionsschläge anwenden, daß eine chemische Zersetzung nicht stattfinden kann. Hierzu sind Metall-Electroden unverwendbar; man muß solche mit großer Widerstandskraft anwenden. Ich will es jedoch nicht verhehlen, daß es mir nur äußerst selten gelang, die Stärke des Stromes so abzumessen, daß ich nur jene kleinen Contractionswülste erhielt, die nach dem Aufhören des Impulses allmählig auch wieder verschwinden. Meistens hat man durch einen zu starken Strom, trotz aller Vorsicht, das betreffende Präparat untauglich gemacht. Jetzt bleibt mir nur noch übrig, die geistreichen Untersuchungen W. Kühne's über den Einfluß der atmosphärischen Luft, der Entziehung des Sauerstoffes und der Wirkung der Kohlensäure und des Wasserstoffes zu erwähnen. Sie constatiren auf das Glänzendste

die Aehnlichkeit oder Identität des Protoplasmas mit der Muskelsubstanz. Die geringen physiologischen Verschiedenheiten beruhen in der That nur auf einer Verschiedenheit beider in Hinsicht auf ihre Morphologie.

Leider glaube ich mich auf das bisher Gesagte beschränken zu müssen und nicht auf die Untersuchungen über das Protoplasma gewisser niederer Thiere eingehen zu dürfen.

Eine Frage wollen wir jedoch zum Schluß noch aufwerfen, nämlich die: welche Bedeutung kann dem contractilen Protoplasma der Pflanzen vom teleologischen Gesichtspunkte aus zugesprochen werden? Wir müssen es bekennen, darauf nicht in genügender Weise antworten zu können. Bei dem Protoplasma der niedersten Organismen, die noch nicht nach einer Scheidung in Thiere und Pflanzen fragen, ist eine bestimmte physiologische Deutung noch wohl möglich. Wirkliche Pflanzen aber bieten für die Beurtheilung der Contractilität des Protoplasmas keinen teleologischen Anhalt. Das aber darf uns nicht irre machen! Hat ja doch die neuere physiologische Schule, angeregt durch Darwin's geistreiche Theorien, überhaupt den teleologischen Standpunkt verlassen, um die Natur nach ganz anderen Principien zu beurtheilen.

Anhang.

Beschreibung des von mir construirten Objectträgers für Anwendung des constanten galvanischen oder des inducirten Stromes.

Der von mir construirte Objectträger beruht auf dem Princip der du Bois-Reymond'schen Zuleitungsröhrchen. Ich kann daher die Theorie wohl als bekannt voraussetzen. Neu ist die ganze Form des Apparates, ferner die Anwendung von zwei Goldschlägerhäutchen als eigentlichen Electroden. Die beigegebenen Figuren mögen die Beschreibung unterstützen.

Figur I.

Ansicht des zusammengesetzten Apparates.

Figur II.

A. Eine je nach der Größe des vorhandenen Mikroskop-Tisches in beliebigen Dimensionen anzufertigende Glasplatte.

B. Eine Glasplatte, wie sie in Figur IV besonders dargestellt ist.

a. Ein Ring von Hartgummimasse, der auf B aufgekittet ist. } im Längsdurchschnitt.

b. Ein Cylinder von derselben Masse. } im Längsdurchschnitt.

c. Die in Figur V besonders dargestellte Zuleitungsröhre. } im Längsdurchschnitt.

Figur III.

B. s. Fig. IV.

a. b. c. im optischen Querschnitt.

α. Ein schmaler Streifen Goldschlägerhaut, als eigentliche Electrode.

β. Andeutung der imbibitionsfähigen thierischen Membran, mit der die untere Seite von B überzogen ist.

γ. Andeutung des **papier maché**, welches in einer dünnen Schicht auf jene Membran und in den Ring gebracht wird.

Figur IV.

Eine Glasplatte, die vorn schräg zugeschliffen ist.

Figur V.

Eigentliche Zuleitungsröhre.

h. Glasröhre.

d. Amalgamirte Zinkstange.

e. Verschließender Kork.

f. Aufgelöthete Klemmschraube.

g. Verbindungsdraht für den Inductionsapparat oder die galvanische Batterie.

Zum Schluß noch einige Bemerkungen über die Zusammensetzung des Apparates.

Das **papier maché** wird mit einer einprocentigen Chlornatriumlösung getränkt und in die Oeffnung der Glasplatte (B) auf die dieselbe verschließende Membran gebracht. Das **papier maché** muß man sich selbst machen, da das im Handel käufliche schwefelsäurehaltig ist. Auf diese Schicht von **papier maché** wird jener Cylinder von Hartgummi gestellt, nachdem man ihn unten mit Leinewand verschlossen und ihn etwa bis zu einem Drittel seiner Höhe mit Modellirthon angefüllt hat. Dieser Thon muß mit einer concentrirten Lösung von schwefelsaurem Zink durchsättigt sein. Auf diese Thonschicht kommt die unten ebenfalls mit einem Leinewandläppchen verschlossene Zuleitungsröhre, die gleichfalls mit jener Lösung angefüllt ist.

In Betreff der Theorie muß ich auf du Bois-Reymond verweisen. Näheres über den ganzen Apparat wird in dem von Prof. Max Schultze in Bonn herausgegebenen Archiv für mikroskopische Anatomie veröffentlicht werden.